



Center for Grøn Beton

Drift og vedligehold (D&V) af grønne betonkonstruktioner

Udført af:

Carola Edvardsen, COWI

Karsten Tølløse, Teknologisk Institut, Beton

Henrik Nielsen, Vejdirektoratet

November, 2001

Titel: Drift og vedligehold (D&V) af grønne betonkonstruktioner

Udført af: Carola Edvardsen, COWI
Karsten Tølløse, Teknologisk Institut, Beton
Henrik Nielsen, Vejdirektoratet

Dato: November 2001

ISBN: 87-7756-699-8

Reproduktion af dele af rapporten er tilladt, hvis kilde angives.

Indholdsfortegnelse

1.	Indledning	2
1.1	Baggrund og formål.....	2
1.2	Overblik.....	3
2.	Levetidsvurdering af grøn beton i aggressivt miljø	5
2.1	Forsøgsresultater fra BK4: Holdbarhed.....	5
2.2	Vurdering.....	6
3.	Opstilling af D&V-katalog til betonbro	7
3.1	Indledning.....	7
3.2	Drifts- og vedligeholdelsesgrundlag.....	8
3.3	Levetid, materialer og komponenter.....	9
3.4	Vedligeholdsanvisning og intervaller.....	9
3.5	D&V-katalog	12
3.5.1	Løbende drift – Betonbro.....	12
3.5.2	Langsigtet vedligehold - Betonbro.....	13
4.	Opstilling af D&V-strategier for en betonbro med grønne betoner / grønne konstruktionstekniske løsninger.....	15
4.1	D&V-strategier	15
5.	Miljø- og økonomisk screening af brosjøler	21
5.1	Oversigt	21
5.2	Beskrivelse af de udvalgte søjlevarianter	22
5.3	Resultat af miljøscreeninger	24
5.4	Resultatet af økonomiske screeninger	26
6.	Konklusion.....	28
7.	Referencer	29
	Bilag A	30

1. Indledning

1.1 Baggrund og formål

Formålet med udviklingsprojektet U4 er at undersøge konsekvenserne af drift og vedligehold (D&V) ved brugen af grønne betoner og grønne konstruktionstekniske løsninger. Et vigtigt led i projektet er dermed at vurdere de miljøbelastninger som opstår i forbindelse med drift og vedligehold. Mens konstruktioner fremstillet i passiv beton (for eksempel husbygninger) næsten ingen drift- og vedligeholdelsesbehov har, kræver anlægs konstruktioner i aggressivt miljø en væsentlig D&V-indsats. Det har vist sig, at for betonkonstruktioner i aggressivt miljø gælder det, miljøbelastninger, som opstår i forbindelse med D&V, ofte vil udgøre den væsentligste kilde i livscyklusen for hele bygværket. Det er derfor vigtigt at vurdere miljøbelastninger ikke udelukkende i opførelsesfasen men også i brugsfasen.

I Grøn Beton centerkontrakten er følgende aktiviteter nævnt, som skal behandles i U4:

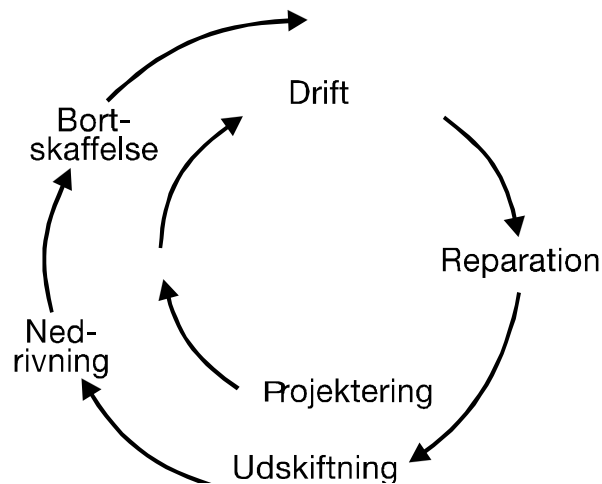
- U4.1: Udarbejdelse af D&V-katalog
- U4.2: Vurdering af levetid for grøn beton
- U4.3: Vurdering af udvalgte D&V-metoders effekt med henblik på opstilling af D&V-strategier
- U4.4: Opstilling af D&V-strategier
- U4.5: Udarbejdelse af driftsinstruktioner (input fra VD ifg. Centerkontrakten, bortfæller helt)

På et af de første centerkontraktledelsesmøder blev det fastlagt, at aktiviteterne i U4 skal omfatte en typisk betonbro fra Vejdirektoratet (motorvejsbro) fremstillet af beton beregnet til aggressiv miljøklasse med fokus på følgende konstruktionsdele:

- Brodæk
- Søjle
- Kantbjælke.

De udvalgte konstruktionsdele er således forskellige i drifts- og vedligeholdsbetingelser, herunder levetid, og er valgt typisk for de mest udsatte elementer af en betonbro.

Ved en grøn betonbro forstås der en bro fremstillet af grøn beton med/eller uden grønne konstruktionstekniske løsninger (udformninger).



Figur nr. 1: De planlagte livscyklusanalyser vil fokusere på D&V-fasen i broens liv

Formålet med denne rapport er at kortlægge processerne, som opstår i D&V-fasen af de ovennævnte konstruktionsdele. Derudover skal de miljømæssige og finansielle forhold i forbindelse med D&V identificeres og vurderes. D&V inkluderer både løbende driftsforanstaltninger, reparation eller udskiftning af beton eller konstruktionsdele efter utilsigtet nedbrydning (først og fremmest armeringskorrosion på grund af chloridbelastning). Et vigtigt led i rapporten er at opgøre miljøpåvirkninger til de sædvanlige D&V-foranstaltninger, som man kender fra vores eksisterende broer. Desuden skal der også opstilles forskellige D&V-strategier, som er baseret på grønne konstruktionstekniske løsninger, som dermed medfører alternative, muligvis mere grønne D&V-foranstaltninger.

Filosofien er at skaffe sig et overblik over de samlede økonomiske, teknologiske og miljømæssige konsekvenser, som er forbundet med forskellige D&V-strategier, som er baserede på grønne konstruktionstekniske udformninger. Budskabet med denne øvelse er, at den projekterende af en ny konstruktion i fremtiden bør overveje forbindelsen mellem forskellige konstruktive udformninger og deres forskellige D&V-behov og dermed deres forskellige miljøpåvirkninger samt omkostninger. Allerede i forbindelse med design bør der tages hensyn til, at omfanget af D&V minimeres.

1.2 Overblik

I afsnit 1 gives en vurdering af levetiden for de grønne betoner i aggressivt miljø (aktivitet U4.2 af centerkontrakt). Mere information vedrørende betons holdbarhed findes i BK4-pakken af Grøn Beton-projektet.

I afsnit 2 opstilles et D&V-katalog af en betonbro med de sædvanlige D&V-foranstaltninger for en traditionel støbt betonbro (traditionel og grøn beton). Miljøvurderinger foretages med udgangspunkt i de enkelte, målbare miljøparametre af de enkelte processer/foranstaltninger i D&V-fasen (aktiviteter U4.1+ U4.3).

I afsnit 3 præsenteres forskellige D&V-strategier for en betonbro med grønne betoner og/eller grønne konstruktionstekniske løsninger (grønne konstruktionsudformninger) (aktivitet U4.4)..

Nogle eksempler af grønne konstruktionsudformninger skitseres i denne rapport, en mere udførlig beskrivelse af disse findes i U5- rapporten.

I afsnit 4 foretages en miljøscreening af brosjøler fremstillet i traditionel beton og grøn beton, som præsenterer forskellige D&V-strategier. Denne screening omfatter ikke blot D&V-foranstaltninger i selve D&V-fasen, men også andre faser i konstruktionens levetid, så vidt den valgte D&V- strategi har indflydelse på disse. Dvs. med fokus på de processer, hvor grøn beton adskiller sig fra den traditionelle beton både med hensyn til typen af proces men også i hyppigheden, hvormed den bliver udført (aktivitet U4.3).

2. Levetidsvurdering af grøn beton i aggressivt miljø

2.1 Forsøgsresultater fra BK4: Holdbarhed

I Grøn Beton-projektet er der i foråret 2000 støbt et antal betoner. Disse er i forbindelse med den faglige aktivitet BK4 Holdbarhed blevet testet mht.

- chloridindtrængning
- carbonatisering
- frostbestandighed

Resultaterne fremgår af tabel 1.1.

Tabel 2.1: Prøvningsresultater. AR, A0, A1 og A3 er danske betoner, mens A5 og A6 er svenske betoner.

Forkortelse	AR	A0	A1	A3	A5	A6
Beskrivelse	reference-beton	beton med rapidcement	beton med højt flyveaskeindhold (40% af pulver) og rapidcement	beton med slamaske og rapidcement	beton med betonslam	beton med stenmel
Chloridmodstand (CTH-metoden)						
diff. koefficient, 28 d.	$7,8 \cdot 10^{-12}$ m ² /s	$7,2 \cdot 10^{-12}$ m ² /s	$6,2 \cdot 10^{-12}$ m ² /s	$4,6 \cdot 10^{-12}$ m ² /s	$14,4 \cdot 10^{-12}$ m ² /s	$18,3 \cdot 10^{-12}$ m ² /s
diff. koeff., 3 mdr.	$5,1 \cdot 10^{-12}$ m ² /s	$3,2 \cdot 10^{-12}$ m ² /s	$3,1 \cdot 10^{-12}$ m ² /s	$3,7 \cdot 10^{-12}$ m ² /s	$11,7 \cdot 10^{-12}$ m ² /s	$13,4 \cdot 10^{-12}$ m ² /s
diff. koefficient, 1 år	$2,6 \cdot 10^{-12}$ m ² /s	$2,2 \cdot 10^{-12}$ m ² /s	$1,0 \cdot 10^{-12}$ m ² /s	$1,9 \cdot 10^{-12}$ m ² /s	$8,7 \cdot 10^{-12}$ m ² /s	$13,5 \cdot 10^{-12}$ m ² /s
Carbonatiseringsdybde efter 12 ugers eksponering (NT-BUILD 357)	13,7 mm	11,7 mm	15,7 mm	9,7 mm	4,3 mm	4,7 mm
Afstandsfaktor (DS/EN 480-11)	0,13 mm	0,18 mm	0,33 mm	0,30 mm	0,17 mm	0,35 mm
Frostbestandighed (SS 13 72 44)						
afskalning, 28 døgn	0,01 kg/m ²	0,01 kg/m ²	0,36 kg/m ²	0,05 kg/m ²	0,00 kg/m ²	0,02 kg/m ²
afskalning, 56 døgn	0,01 kg/m ²	0,01 kg/m ²	0,88 kg/m ²	0,07 kg/m ²	0,01 kg/m ²	0,03 kg/m ²

Forsøgsresultaterne viser, at de danske, grønne betoner (A0, A1 og A3) har chloridmodstand og carbonatisering på niveau med referencebetonen. Dog har A1 en anelse bedre chloridmodstand,

men carbonatiserer til gengæld lidt hurtigere. De svenske betoner, A5 og A6 har dårligere chloridmodstand og mindre carbonatisering end referencebetonen. Dette skyldes dog ikke de grønne tiltag i form af betonslam og stenmel, men hovedsageligt forskellen i svensk og dansk praksis, idet hverken A5 eller A6 indeholder flyveaske og mikrosilica.

Med hensyn til frostbestandighed viste alle betoner undtagen A1 god frostbestandighed, jf. bedømmelseskriterierne i SS 13 72 44. Dette skyldes sandsynligvis den grove luftporestruktur (afstandsfaktor 0,33 mm). Der er i sommeren 2001 udført nye forsøg med A1, hvor luftporestrukturen er forbedret, hvilket gav følgende resultater:

- afstandsfaktor: 0,22 mm
- afskalning efter 28 d.: 0,24 kg/m²
- afskalning efter 56 d.: 0,34 kg/m²

A1 med den forbedrede luftporestruktur har således også god frostbestandighed.

2.2 Vurdering

Den generelle vurdering af de grønne betoners levetid er derfor, at det er muligt at fremstille grøn beton til aggressiv miljøklasse, der er mindst lige så holdbar som traditionel beton, hvis den opfylder de samme krav, der stilles til traditionel beton.

A1 er den beton, der giver anledning til mindst CO₂-belastning pr. m³ beton, og det er denne betontype, der indgår i beregningerne i denne rapport's kapitel 4: Miljø- og økonomisk screening af brosjøler. For betonsøjler udsat for saltsprøjt vurderes det, at det både for referencebetonen AR og den grønne beton A1 vil være chloridindtrængningen, der afgør søjlens levetid. Det vælges at regne med samme levetid for de to betontyper. Dette må formodes at være en konservativ antagelse, da A1 har en lavere chloriddiffusionskoefficient end AR.

3. Opstilling af D&V-katalog til betonbro

3.1 Indledning

I dette afsnit er der udarbejdet et D&V-katalog til en betonbro, hvor D&V inkluderer både løbende drift og vedligehold (reparation/udskiftning). Derudover er der udført en teknisk, økonomisk og miljømæssig vurdering af disse D&V-foranstaltninger. Med teknisk vurdering menes først og fremmest en vurdering af levetiden af materialer og komponenter.

Denne D&V-gennemgang (D&V-katalog) omfatter drift og vedligehold af en typisk in situ støbt betonbro (efterspændte kassedragerbroer) klassificeret i aggressiv miljøklasse, se tabel 2.1. Der forudsættes et forøget dæklag på armering i kantbjælken og mellemsøjlen, dvs. 50 mm.

Tabel 2.1: Karakteristika af den valgte betonbro /P1/

Bygværksidentitet	Brokarakteristika
Bygværksbetegnelse	OF af boulevard over motorvej
Beliggenhed	aggressivt miljø
Opført år	1997
Bygværkets art	2-fags vejbærende kassedragerbro
Længde	58,73 m
Bredde	20,00 m
Areal	1174 m ²

Det opførte D&V-katalog gælder i princippet for en betonbro støbt såvel i traditionel beton som i grøn beton, såfremt betonen er beregnet til aggressivt miljø, da der forudsættes, at grøn beton til aggressivt miljø er lige så holdbar som traditionel beton (se afsnit 1).

Broens betonkonstruktioner er projekteret til en driftsperiode på 100 år. I driftsperiodens første 25 år vil betonkonstruktionerne være vedligeholdesfri bortset fra det almindelige vedligehold, der normalt knytter sig til drift af den pågældende konstruktion.

Herefter kan det forventes, at der er behov for reparationer af mellemunderstøtninger og kantbjælker.

Ved driftsperiodens udløb vil broen stadig være intakt forstået på den måde, at bæreevnen ikke vil være reduceret.

Der vil i løbet af driftsperioden være behov for reparation og/eller udskiftning af:

- Fugtisolering og belægning
- Broautoværn
- Vejautoværn
- Overfladebehandling af betonoverflader
- Bløde fuger
- Stenfyldte fuger
- Betonbelægningssten

Forudsætningen for at målsætningen med en driftsperiode på 100 år opfyldes, og at der skal forløbe 50 år før større reparationer af betonen skal foretages, er, at broen vedligeholdes i henhold til Vejdirektoratets D&V-forskrifter.

3.2 Drifts- og vedligeholdelsesgrundlag

Drifts- og vedligeholdelsesgrundlaget er beskrevet i det følgende. Broen vedligeholdes iht. to niveauer:

- A: løbende driftsforanstaltninger
 B: langsigtet vedligeholdelse.

For den valgte bro er der følgende konstruktionsdele (hovedmængder) med betydning for drift og vedligehold, se tabel 2.2

Tabel 2.2: Brodele med betydning for D&V for den valgte bro i tabel 2.1 /P1/

Betegnelse	Enhed	Eksempel
Kantbjælker	m ²	118
Broafløb	stk	8
Mellemunderstøtninger, synlig betonoverflade	m ²	115
Dilatationsfuge, stenfyldt fuge	m	36
Fugtisolering, VD type IVa	m ²	1207
Belægning	m ²	1285
Slidlag, 40 mm AB	m ²	900
Bitumenfuger	m	380
Broautoværn	m	118
Vejautoværn	m	550

Kantbjælker forudsættes at være overfladebehandlede på inder-, over- og ydersider. Mellemsøjler er overfladebehandlede over terræn.

3.3 Levetid, materialer og komponenter

Levetid:

Broen er projekteret til at opfylde følgende krav til levetid:

- 100 år for hovedkonstruktionen, hvoraf de første 50 år er vedligeholdsfri, bortset fra rengøring m.v. som anført i D&V-kataloget (tabel 2.4). Hovedkonstruktionen omfatter al betonarbejde.
- 25 år for fugtisoleringen på brodækket. Derefter skal den udskiftes.
- 25 år for brobelægning (ABM og ÅAB).
- 13 år for slidlag (AB).
- 25 år for varmekorrosionsbeskyttelse (vfz) af broautoværn.
- 13 år for overfladebeskyttelse (maling) af broautoværn.
- 7 år for bløde og stenfyldte fuger. Vedligeholdes løbende.
- 13 år for overfladebehandling af kantbjælker og mellemsøjler.
- 25 år for søjler og kantbjælker. Derefter skal de repareres (søjler: de første 2 m over terræn).

Materialer og komponenter:

Broen er udført i in-situ støbt beton.

Fugtisoleringen på broerne er som VD-type IVa; polymerbitumenplade og topmembran.

Belægning: Drænlag 15-20 mm ÅAB. Beskyttelseslag 50 mm ABM, type c. Slidlag på kørebane og i nødspor er 40 mm AB 11å.

Der er udført stenfyldte dilatationsfuger ved broender.

Der er udført inddækning langs kantbjælker med klemskinne og Sikasilfuge.

Ved broafløb er der udført bitumenfuger.

Broautoværnet er udført i varmgalvaniseret stål. Endvidere er dele af broautoværnet malet.

Kantbjælker og mellemsøjler over terræn er overfladebehandlede (for eksempel monosilan-produkt, Conservado 70)

3.4 Vedligeholdsanvisning og intervaller

Forudsætningen for, at hovedkonstruktionen overholder de stillede krav til levetid, fordrer, at det løbende vedligehold, udskiftninger og reparationer foretages.

Nedenfor i tabel 2.3 er angivet det forventede behov for udskiftning og reparation udover de løbende driftsforanstaltninger. Forudsætning er at reparationen har samme levetid som oprindelig beton (dvs. 25 år).

Tabel 2.3: Forventede behov for udskiftning og reparation

År efter opførelse	Teknisk system – Objekt	Tiltag
7	Stenfyldte fuger Bitumenfuger	Udskiftning Udskiftning
13	Kantbjælker Mellemsøjler Slidlag Stenfyldte fuger Bitumenfuger Broautoværn	Overfladebehandling af beton Overfladebehandling af beton Udskiftning Udskiftning Udskiftning Overfladebehandling, maling
19	Stenfyldte fuger Bitumenfuger	Udskiftning Udskiftning
25	Kantbjælker Mellemsøjler Fugtisolerings inkl.drænlag Belægning Stenfyldte fuger Bitumenfuger Broautoværn Vejautoværn	Reparation og overfladebehandling af beton Reparation og overfladebehandling af beton Udskiftning Udskiftning Udskiftning Udskiftning Overfladebehandling, vfz og maling Overfladebehandling, vfz
32	Stenfyldte fuger Bitumenfuger	Udskiftning Udskiftning
38	Kantbjælke Mellemsøjler Slidlag Stenfyldte fuger Bitumenfuger Broautoværn	Overfladebehandling af beton Overfladebehandling af beton Udskiftning Udskiftning Udskiftning Overfladebehandling, maling
44	Stenfyldte fuger Bitumenfuger	Udskiftning Udskiftning
50	Kantbjælker Mellemsøjler Fugtisolerings inkl. drænlag Belægning Stenfyldte fuger Bitumenfuger Broautoværn Vejautoværn	Reparation og overfladebehandling af beton Reparation og overfladebehandling af beton Udskiftning Udskiftning Udskiftning Udskiftning Reparation/overfladebeh. vfz og maling Reparation/overfladebeh. vfz.
57	Stenfyldte fuger Bitumenfuger	Udskiftning Udskiftning
63	Kantbjælker Mellemsøjler Slidlag Stenfyldte fuger Bitumenfuger Broautoværn	Overfladebehandling af beton Overfladebehandling af beton Udskiftning Udskiftning Udskiftning Overfladebehandling, maling
69	Stenfyldte fuger Bitumenfuger	Udskiftning Udskiftning
75	Kantbjælker Mellemsøjler Fugtisolerings inkl.drænlag Belægning	Reparation og overfladebehandling af beton Reparation og overfladebehandling af beton Udskiftning Udskiftning

År efter opførelse	Teknisk system – Objekt	Tiltag
	Stenfylde fuger Bitumenfuger Broautoværn Vejautoværn	Udskiftning Udskiftning Overfladebehandling, vfz og maling Overfladebehandling, vfz
82	Stenfylde fuger Bitumenfuger	Udskiftning Udskiftning
88	Kantbjælke Mellemsøjler Slidlag Stenfylde fuger Bitumenfuger Broautoværn	Overfladebehandling af beton Overfladebehandling af beton Udskiftning Udskiftning Udskiftning Overfladebehandling, maling
94	Stenfylde fuger Bitumenfuger	Udskiftning Udskiftning
100	Kantbjælker Mellemsøjler Fugtisolerings inkl. drænlag Belægning Stenfylde fuger Bitumenfuger Broautoværn Vejautoværn	Reparation og overfladebehandling af beton Reparation og overfladebehandling af beton Udskiftning Udskiftning Udskiftning Udskiftning Udskiftning Udskiftning

3.5 D&V-katalog

3.5.1 Løbende drift – Betonbro

Tabel 2.4: Sædvanlige driftsforanstaltninger

Konstruktionselement	Løbende drifts foranstaltninger	Hypighed	Enhed	Omkostninger Enhedspris (kr)	CO ₂ -emission Enhedsværdi (kg)
Kantbjælker: (inder-, yder- og oversider)	Spuling	Hvert forår efter vintertjenestens ophør	m ²	45	(0,3)
Mellemunderstøtninger	Rengøring/Spuling	Hvert forår efter vintertjenestens ophør	m ²	45	(0,3)
Broautoværn i stål	Spuling	Hvert forår efter vintertjenestens ophør	m	50	- ¹⁾
Brobelægning	Rengøring	Månedligt	m ²	5	- ¹⁾
Elastiske fuger; bitumenfuger langs kantbjælker og kantsten	Rengøring/efterfyldning	1/1-årligt eller efter behov	m	100	- ¹⁾
Stenfyldte fuger	Efterfyldning	1/1-årligt eller efter behov	m	2000	- ¹⁾
Broafløb i brodæk	Oprensning/spuling	½-årligt eller efter behov	stk	300	-
Nedløbsbrønde ved broender	Oprensning/spuling	½-årligt eller efter behov	stk	300	-

Konstruktionselement	Løbende drifts foranstaltninger	Hyppighed	Enhed	Omkostninger Enhedspris (kr)	CO ₂ -emission Enhedsværdi (kg)
Brodræn ved ender	Oprensning	Årligt eller efter behov	stk	300	-
Dryprør	Oprensning	Årligt eller efter behov	stk	350	-
Graffiti	Rengøring	1/2-årligt eller efter behov	m ²	200	-

3.5.2 Langsigtet vedligehold - Betonbro

Tabel 2.5: Sædvanlige vedligeholdsforanstaltninger

År	Objekt	Langsigtet vedligeholdelse ¹⁾	Enhed	Omkostninger Enhedspris (kr/Enhed)	CO ₂ -emission Enhedsværdi (kg)
7	Stenfyldte fuger Bitumenfuger	Udskiftning Udskiftning	m m	1.900,- 250,-	-
13	Kantbjælker Mellemsøjler Stenfyldte fuger Slidlag Bitumenfuger Broautoværn	Overfladebehandling af beton Overfladebehandling af beton Udskiftning Udskiftning Udskiftning Overfladebehandling, maling	m ² m ² m m ² m m	240,- 175,- 1.900,- 600,- 250,- 1.000,-	- (0.048)
19	Stenfyldte fuger Bitumenfuger	Udskiftning Udskiftning	m m	1.900,- 250,-	- -
25	Overbygning Kantbjælker Kantbjælker Mellemsøjler Stenfyldte fuger Isolering og drænlag	Chlorid- og dæklagsmåling Chlorid- og dæklagsmåling Reparation og overfladebehandling Reparation og overfladebehandling ²⁾ Overfladebehandling af beton Udskiftning	- - m ² m ² m m ²	10.000,- 10.000,- 5000,- 5000,- 1.900,- 1.200,-	- - 513 513 - -

År	Objekt	Langsigtet vedligeholdelse ¹⁾	Enhed	Omkostninger Enhedspris (kr/Enhed)	CO ₂ -emission Enhedsværdi (kg)
	Belægning	Udskiftning	m ²	1.500,-	-
	Bitumenfuger	Udskiftning	m	250,-	-
	Broautoværn	Udskiftning	m	1.500,-	-
	Vejautoværn	Overfladebehandling, omforzinkning	m	750,-	-
		Overfladebehandling, omforzinkning			

1): uden omkostninger til eftersyn (garantiefersyn, generalfersyn)

2): betonreparation på de første 2 meter over terræn

-): der forefindes ikke data for de specifikke konstruktionsdele

4. Opstilling af D&V-strategier for en betonbro med grønne betoner / grønne konstruktionstekniske løsninger

4.1 D&V-strategier

I Grøn Beton projektet skal der i forbindelse med design af grønne betonbroer kortlægges forskellige D&V-strategier, som genspejler forskellige konstruktionsprincipper.

Konstruktionsprincipperne bygger på forskellige konstruktive udformninger/konstruktionstekniske løsninger.

Konstruktions-princip	Fremstilling	D & V
1	Billig	Dyr
2	Dyr	Billig

Principielt findes der to konstruktionsprincipper som adskiller sig med hensyn til fremstillings- og D&V-fasen:

1. Det første princip går ud fra, at der fremstilles en **billig**, mindre robust og mindre holdbar konstruktion, som kræver løbende, miljømæssig og økonomisk set omfattende D&V og som dermed kan karakteriseres som **dyr** D&V.
2. Princip 2 går ud fra, at der fremstilles en **dyr**, meget robust og holdbar konstruktion, som kræver mindre eller minimal D&V, som er mindre belastende for miljø og økonomi og som dermed karakteriseres som **billig** D&V.

Efterfølgende skal der nævnes nogle eksempler som repræsenterer de forskellige konstruktionsprincipper:

Et eksempel på det første princip (billig/dyr) er at designe en kantbjælke, hvor der spares på materialeforbrug til fremstilling, f.eks. besparelse af beton ved at reducere betondæklag. Ifølge det reducerede dæklag må der dog påregnes tidligere korrosion af stål pga. kloridbelastning og dermed hyppigere og mere bekostelig D&V i konstruktionens levetid.

Alternativ designes lige fra starten en meget robust og dermed dyrere konstruktion, som næsten ikke kræver nogen drift og vedligehold (princip dyr/billig). I forbindelse med et brodæk kan der navnes forskellige muligheder. En mulighed ville være at støbe hele brodækket i CRC (Compact Reinforced Concrete) /A1/. CRC er en meget holdbar armeret beton, som man regner med vil kunne modstå den sædvanlige chloridbelastning i broens levetid, selv i tilfælde af at den sorte belægning og fugtisolerung udelades. Til gengæld er fremstillingen af CRC meget dyrere i forhold til traditionel beton. Figur nr. 3.1 viser et eksempel på CRC-anvendelse ved altaner i husbyggeri /A2/.



Figur nr. 3.1: CRC-altaner som er meget slank (maksimal tykkelse 100 mm) og holdbar /A2/. Reparation af brodækket kan gøres billigere og mere miljøvenligt, hvis den traditionelle sorte belægning samt isolering udelades, som efterfølgende eksempel beviser. Belægning og fugtisolering af broen er såvel i opførelses- og i D&V-fasen miljømæssigt og økonomisk set meget belastende. Besparelse af bitumen og kunststofmateriale vil bevirke en billigere konstruktion med hensyn til anlægsudgiften i forhold til et traditionelt isolerende brodæk. Det viser det simple studie fra Kristoffersen og Hansen /K1/, hvor der er gennemført en nuværdiberegning af to forskellige strategier (A og B) til reparation af et eksisterende brodæk, se figur nr.3.2. Strategi A forudsætter, at broens betondæk fornyes, dog uden den traditionelle fugtisolering, så der køres direkte på betonbanen. Strategi B præsenterer en reparation med traditionel fugtisolering og asfaltslidlag. Som det ses i figur nr. 3.2, er der ca. 9% at spare ved at vælge en bro uden fugtisolering.

Figur nr.3.2: Nuværdiberegning af to strategier til reparation af brodæk /K1/

Nuværdi		Strategi A (billig/dyr)	
Bro nr. : 415-0005, UF af Skals Å; Brodæk = 133 m ² -Bro uden fugtisolering. Der køres direkte på betonen. -Evt. revner i betonen injiceres. -Såfremt betonoverfladen bliver glat, ruhugges denne. -Når klorid når ind til OVERsidearmering, udstøbes nyt overbeton.			
Kalkulationsrente	7% p.a.		
Arbejdets art	Beløb inkl. trafikantomk.	År fra i dag	Nuværdi kr. i dag
Nyt brodæk uden fugtisolering (15000 kr/m ²).	2.000.000		2.000.000
Injektion af revner samt udgifter til vedligehold af fuger ved broender.	30.000	13	12.449
Ruhugning af beton OS og evt. injektion af revner. Samt ekstraudgifter til fræsning af asfalt ved broender og vedligehold af fuger.	60.000	30	7.882
Injektion af revner samt udgifter til vedligehold af fuger ved broender.	30.000	40	2.003
Nyt overbeton (3.500 kr./m ²).	460.000	50	15.616
Injektion af revner samt udgifter til vedligehold af fuger ved broender.	30.000	65	369
Ruhugning af beton OS og evt. injektion af revner samt ekstraudgifter til fræsning af asfalt ved broender og vedligehold af fuger.	60.000	80	268
Strategi A i alt	2.038.587		

Nuværdi		Strategi B (dyr/billig)	
Bro nr.: 415-0005, UF af Skals Å; Brodæk = 133 m ² -Brodæk med fugtisolering -Nyt asfaltslidlag ca. hvert 15. år -Ny fugtisolering m.v. efter 50 år			
Kalkulationsrente	7% p.a.		
Arbejdets art	Beløb inkl. trafikantomk.	År fra i dag	Nuværdi kr. i dag
Nyt brodæk med fugtisolering (16.500 kr./m ²).	2.200.000		2.200.000
Nyt slidlag (300 kr./m ²).	40.000	13	16.599
Nyt slidlag (300 kr./m ²).	40.000	30	5.255
Nyt slidlag (300 kr./m ²).	40.000	40	2.671
Omisolering og ny belægning (2.900 kr./m ²)	400.000	50	13.579
Nyt slidlag (300 kr./m ²)	40.000	65	492
Nyt slidlag (300 kr./m ²).	40.000	80	178
Strategi B i alt			2.238.774
Strategi A i alt			2.038.587
		Diff. i kr.	200.187
		Diff. i %	9,28%

Fortsætter man med ideen med at undvære den sorte belægning lige fra starten samt isolering og forudsætter, at man kører direkte oven på betonen, så findes der to andre interessante konstruktionstekniske løsninger, som hver for sig medfører en bestemt D&V-indsats. Udlægning af en ekstra belægning af Densit oven på den normale konstruktionsbeton, som fungerer som "offer"-belægning vil være en løsning. Densit er meget mere holdbart overfor chlorider end normalbeton og har dermed en længere levetid (mindst 30-40 år). Når Densit-laget alligevel trænger til en fornyelse efter en årerække, så skal den fjernes og erstattes med et nyt offerlag af Densit. En anden løsning, som følger samme princip vil være at bruge et ekstra offerlag af fiberbeton i stedet for Densit. Valg af rustfri armering i stedet for den traditionelle sorte armering er en anden mulighed for et konstruktionsprincip, hvor omkostningerne til opførelsen forhøjes, mens udgifterne i D&V-fasen minimeres i forhold til en traditionel betonkonstruktion, se figur nr. 3.3.



Figur nr. 3.3: Rustfri armering

Tilsvarende principper kan opstilles for en brostøje. En billig konstruktionsløsning med dyr D&V ville være en søjle fremstillet af grøn beton, som kræver de regulære D&V-foranstaltninger. En dyr konstruktionsløsning med billig D&V ville være en søjle fremstillet af grøn beton, som er omgivet (inddækket) af en rustfri stålkappe, en søjle armeret med rustfri stål, eller en søjle komplet opført i CRC. Alle 3 løsninger kræver næsten ingen vedligeholdelse i konstruktionens levetid.

Tabel 3.1 viser forskellige konstruktionsprincipper og D&V-strategier for konstruktionsdelene brodæk, søjle og kantbjælke. De valgte levetider for de valgte konstruktionsdele samt reparationsfrekvenser

skal betragtes som skøn, delvist baseret på erfaringer fra praksis.

Tabel 3.1: Oversigt over de forskellige konstruktionsprincipper og D&V-strategier (nogle udvalgte skal kvantificeres i forhold til energi- og ressourceforbrug samt økonomi).

Brodel	Betontype	Konstruktionsprincip	Antaget interval mellem reparation og udskiftning	D&V-omfang
Brodek	Grøn beton til aggressivt miljø	Traditionel konstruktionsbeton med vandtæt membran + sort belægning	25 år	omfattende
		I stedet for vandtæt membran + sort belægning, belægning af Densit ovenpå den traditionelle konstruktionsbeton	min. 30 år	begrænset
		I stedet for vandtæt membran + sort belægning, belægning af fiberbeton oven på den traditionelle konstruktionsbeton	min. 30 år	begrænset
		Hele konstruktionen i grøn beton uden supplerende beskyttelse, udeladelse af membran + sort belægning	20 år	omfattende
		Hele konstruktionen i grøn beton samt rustfri armering, udeladelse af membran + sort belægning	> 75 år	ingen
Søjle	Grøn beton til aggressivt miljø	Hele konstruktionen i grøn beton	25 år	omfattende
		Grøn beton samt ekstra CRC-dæklag	min. 50 år	begrænset
		Grøn beton og rustfri betonarmering	> 75 år	ingen
		Grøn beton og rustfri stålkappe	> 75 år	ingen
	CRC	Hele konstruktionen i CRC	> 75 år	ingen
Kantbjælke	Grøn beton til aggressivt miljø	Hele konstruktionen i grøn beton	25 år	omfattende
		Hele konstruktionen i grøn beton samt rustfri armering	> 75 år	ingen

5. Miljø- og økonomisk screening af brosjøjer

5.1 Oversigt

I dette afsnit gennemføres en miljøscreening af nogle udvalgte konstruktionsprincipper til brosjøjer, som er opført i tabel 3.1 (grå markerede rækker i tabel 3.1) dvs.:

- Søjle A i grøn beton (betontype A1) til aggressivt miljø
- Søjle B i grøn beton (betontype A1) og rustfri armering
- Søjle C i grøn beton (betontype A1) og rustfri inddækning

samt

- Søjle R Referencesøjle i traditionel beton (beton A til aggressivt miljø iflg. DS 411).

Betontype A1 er beton til aggressive miljøklasse hvor 40% af pulverbindingen udgøres af flyveaske og cementen "NRC" som erstatning for "SAC". Der forudsættes armeringskorrosion på grund af tørsalt som afgørende nedbrydningsproces.

Referencesøjlen R ligner søjle A bortset fra, at den grønne betontype er blevet erstattet af en traditionel beton, der bruges i aggressive miljøer (lavalkalisk cement SAC). Se den udførlige information om betontyperne i /G1/. Art og omfang af D&V er ens for referencesøjlen R og grøn betonsøjle A, mens det antages, at søjle B og C ikke kræver nogen drift- og vedligeholdelse i hele levetiden (75 år). Data brugt ifm. denne screening står i Tabel 4.1.

Formålet med screeningen er at finde ressourceforbrug og miljøbelastninger af traditionel beton/traditionel design i forhold til grøn beton/grøn design som opstår i løbet af hele levetiden. Dette inkluderer dermed de miljømæssigt mest kritiske D&V-faser.

De udførte levetidsscreeninger angiver materialeforbrug (betonforbrug) og CO₂-udslip fremkaldt i de forskellige faser af søjlernes levetid. For at kunne begrænse analysen til et minimum, omfatter miljøscreeningen kun de tilfælde, hvor de grønne betonsøjlers miljømæssige påvirkning adskiller sig fra den miljømæssige påvirkning fra traditionelle søjler (referencesøjle R), se bilag A.

Miljøparametrene, hvad angår arbejdsmiljøet, er ikke inkluderet.

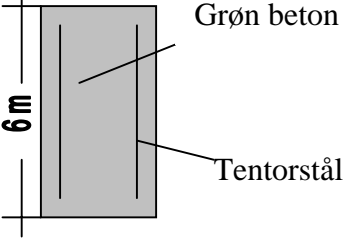
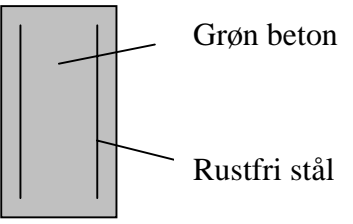
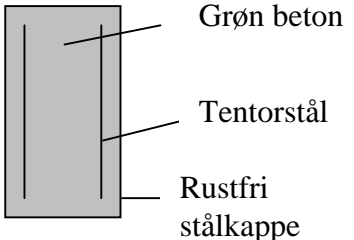
De i tabel 4.1 valgte levetider for bygningsdele og komponenter samt reparationsfrekvenser for søjle R og A er baseret på dansk praksis. Dvs. at man antager, at søjlerne R og A skal repareres efter 25 år og igen efter 50 år, mens alle søjlerne bliver nedrevet efter 75 år. Betonreparationerne antages at begrænse sig til de første 2 m af søjlen over terræn (mere information se bilag A). For at få en fornemmelse af reparationsfrekvensens indflydelse på miljøet er screeninger for variant R og A gentaget under antagelse af, at den første og eneste reparation gennemføres først 50 år (nedrivning som før efter 75 år).

Derudover bliver de finansielle forhold for de forskellige konstruktionsprincipper og de dermed forbundne D&V-foranstaltninger vurderet.

5.2 Beskrivelse af de udvalgte søjlevarianter

Nedenfor vises inddata for de eksempler, for hvilke en miljømæssig og økonomisk screening er udført.

Tabel 4.1 Miljø/økonomiscreeninger – Søjler

Konstruktionsprincip	A	B	B
Specifikationer	 <p>Højde: 6 m Diameter : 74 cm</p> <p>Betondæklag: 50 mm ¹⁾</p> <p>Tentorstål: ø 25 mm, 346 kg</p> <p>Opførelse: traditionel, in-situ støbning</p> <p>D&V: - Rengøring/spuling: hvert år - Overfladebehandling: hvert 13 år - Reparation: efter 25 og 50 år - Fjernelse (levetid): efter 75 år</p>	 <p>Højde: 6 m Diameter: 70 cm Betondæklag: 30 mm</p> <p>Rustfrit stål: ø 25 mm, 346 kg</p> <p>Opførelse: traditionel, in-situ støbning</p> <p>D&V: - Rengøring/spuling: ·/· - Overfladebehandling: ·/· - Reparation: ·/· - Fjernelse (levetid): efter 75 år</p>	 <p>Højde: 6 m Diameter : 70 cm Betondæklag: 30 mm</p> <p>Tentorstål: ø 25 mm, 346 kg</p> <p>Opførelse: Indækning med rustfri stålkappe som erstatter traditionel forskalling, in-situ støbning</p> <p>D&V: - Rengøring/Spuling: ·/· - Overfladebehandling: ·/· - Reparation: ·/· - Fjernelse (levetid): efter 75 år·/·</p>

Betonrecept	Grøn beton A1	Grøn beton A1	Grøn beton A1
Nye materialer til opførelse ift. ikke-grøn konstruktion	-	Rustfrit stål	Rustfri stålkappe
Proces- samt materialebesparelse til opførelse ift. ikke-grøn konstruktion	-	-	Bortfald af etablering af traditionel træforskalling Mængder se inddata, bilag A
Proces- samt materialebesparelser til D&V ift. ikke-grøn konstruktion	-	Bortfald af rengøring/spuling samt reparation Mængder se inddata, bilag A	Bortfald af rengøring/spuling samt reparation Mængder se inddata, bilag A

1) i henhold til VD praksis

5.3 Resultat af miljøscreeninger

Ved den miljømæssige screening er der primært fokuseret på CO₂-emissionen, som et af miljømålene, idet de andre miljømål bedst lader sig vurdere mht. recepten for betonen, se rapport /G1/.

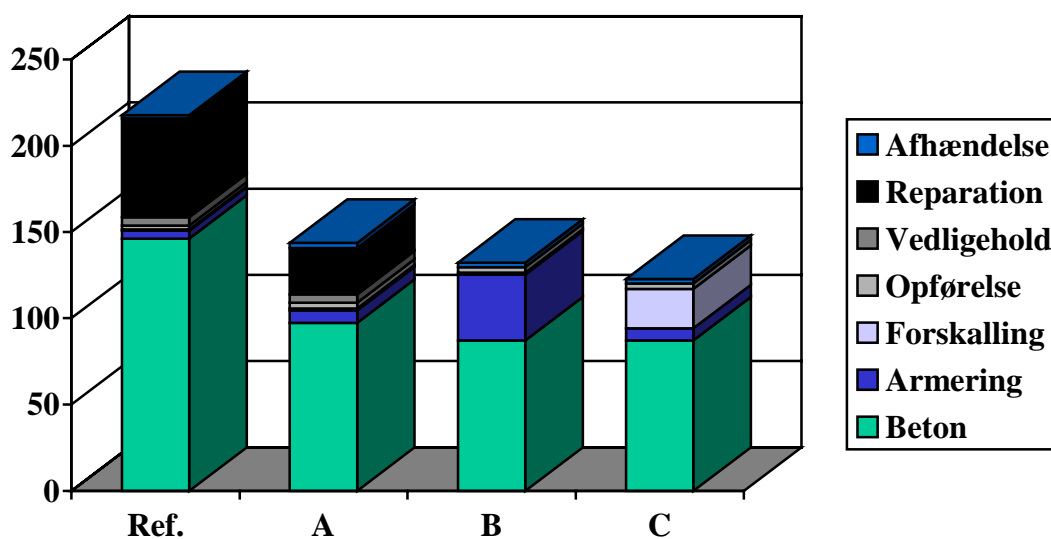
CO₂ emission pr år ved en levetid på henholdsvis 50 og 75 år for de 3 søjler af grøn beton (A, B og C) og den traditionelle søjle (R) fremgår af tabel 4.2.

Tabel 4.2: CO₂-emission pr år i kg for søjler

Løsning	R	A	B	C
CO ₂ ved levetid 50 år	281	144	132	123
CO ₂ ved levetid 75 år	218	115	88	82

Som det fremgår er de mest miljøvenlige løsninger mht. CO₂-emission løsning B (rustfri armering) og løsning C (rustfri stålkappe) ved samme levetid på alle løsninger.

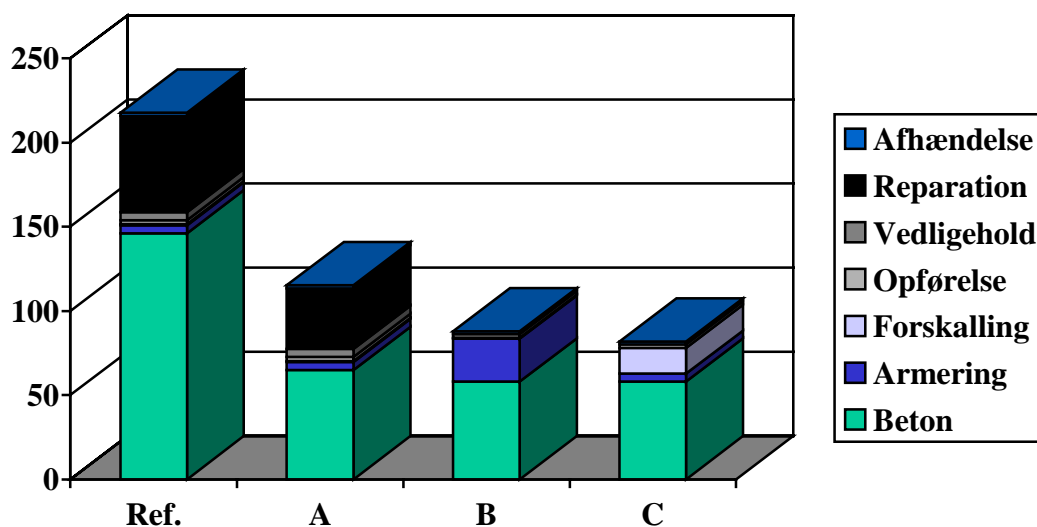
For at få et bedre overblik over, hvor følsom valget af løsning er overfor forskellige levetider, er der i figur 4.1 sammenlignet tilfældet, hvor kun løsning R har en levetid på 75 år, mens de tre øvrige løsninger har en levetid på kun 50 år.



Figur 4.1: CO₂-emission pr leveår ved 75 år for løsning R, og 50 år for løsning A, B og C. Oprindelse af CO₂-emission er angivet (75-50-50-50 år)

Som det fremgår er reference løsningen på trods af en længere levetid stadig mere miljøbelastende end de øvrige løsninger.

Til sammenligning er der i figur 4.2 angivet CO₂-emission såfremt alle fire løsninger har samme lange levetid, dvs. 75 år.



Figur 4.2: CO₂-emisison pr leveår ved 75 år for alle 4 løsninger. Oprindelse af CO₂-emisison er angivet (75-75-75-75år)

Som det fremgår er har CO₂-emissionerne noget forskellig oprindelse; men det er klart referencen der er den mest miljøbelastende, mens løsning B og C er ligeværdige.

I forhold til de opsatte miljøbetingelser:

1. at undgå stoffer fra Miljøstyrelsens liste over uønskede stoffer
2. at sikre betonkvaliteten, så det fortsat er muligt at genanvende 95% af affaldet
3. at sikre spildevandskvaliteten fra produktion af beton, så det er muligt at genanvende spildevandet i beton i samme omfang, som det er muligt i dag
4. at undgå en forøgelse af udledninger af miljøbelastende stoffer i spildevandet
5. at undgå øgede støv og støjbelastninger ved produktion udstøbning og nedrivning af beton.

er der de 4 løsninger ligeværdige bortset fra den femte betingelse (støv og støj), hvorfor der er fokuseret på denne. Idet mængden af støv og støj anses for at være omtrent ligefrem proportionalt med betonmængden, er der som vikarierende parameter indsat betonmængden.

Den samlede betonmængde ved en levetid på henholdsvis 50 og 75 år er angivet i tabel 4.3

Tabel 4.3: Samlet betonmængde i kg

Løsning	R	A	B	C
Betonmængde ved levetid 50 år	6672	6672	5266	5266
Betonmængde ved levetid 75 år	7447	7447	5266	5266

Som det fremgår er løsning B og C mht. betonforbrug uafhængige af levetiden, og i alle tilfælde de mindst betonforbrugende løsninger, mens R og A er lige betonforbrugende.

5.4 Resultatet af økonomiske screeninger

Det umiddelbare resultat for de forskellige varianter mht. til økonomisk besparelse eller merudgifter til opførelse, drift og vedligehold er givet i nedenstående tabel 4.4 for en levetid på 75 år. Tabellen viser kun, hvor variant B og C adskiller sig fra de øvrige, R og A. Da det antages at materialepriser (beton, stål), andre anlægsudgifter samt D&V-udgifter er ens for variant R og A, adskiller begge disse varianter sig ikke fra hinanden (dermed er variant A ikke opført i tabel 4.4). Tabel 4.5 viser resultatet af en nutidsværdiberegning med forskellige diskonteringsrater for samme eksempel.

Tabel 4.4: Besparelse og meromkostninger af grøn betonsøjle variant B og C i forhold til variant R eller A for hele levetiden på 75 år (diskonteringsrate: 0%)

Variant	Søjle B	Søjle C
Besparelse (-)		
• ifølge reduceret betondækklag	- 1.500,- DKK	- 1500,- DK
• ifølge. udeladelse traditionel forskalling		- 7.000,- DKK
• ingen rengøring/spuling (hvert år)	- 10.000,- DKK	- 10.000,- DKK
• ingen overfladebehandling (hvert 13 år)	- 7500,- DKK	- 7500,- DKK
• ingen betonreparation (hvert 25 år)	- 48.000,- DKK	- 48.000,- DKK
Meromkostninger (+)		
• Rustfri stål i forhold til tentorstål	+ 12.100,-DKK	
• Rustfri stålkappe i forhold til tentorstål		+ 30.000,- DKK
Sum Besparelse	- 54.900,- DKK	- 44.000,- DKK

Tabel 4.5: Resultat af nutidsværdiberegning for eksemplet

Variant	Søjle B				Søjle C			
	0%	2%	4%	7%	0%	2%	4%	7%
Diskonteringsrate	0%	2%	4%	7%	0%	2%	4%	7%
Besparelse (DKK)								
Reduceret dæklag	-1500	-1500	-1500	-1500	-1500	-1500	-1500	-1500
Udeladelse af traditionel forskalling	0	0	0	0	-7000	-7000	-7000	-7000
Ingen rengøring/spuling (hvert år)	-10000	-5260	-3284	-2025	-10000	-5260	-3283	-2025
Ingen overfladebehandling (hvert 13. år)	-7500	-3833	-2196	-1119	-7500	-3832	-2196	-1118
Ingen betonreparation (hvert 25. år)	-48000	-24016	-12875	-5603	-48000	-24016	-12875	-5603
Meromkostninger (DKK)								
Rustfri stål i forhold til tentorstål	12100	12100	12100	12100	0	0	0	0
Rustfri stålkappe i forhold til tentorstål	0	0	0	0	30000	30000	30000	30000
Sum Besparelse (DKK)	-54900	-22509	-7755	1853	-44000	-11609	3145	12753

6. Konklusion

Selv om gennemførte screeninger (miljø og økonomisk) af forskellige søjlevarianter er meget simplificerede, viser resultaterne klart en tendens til at en grøn betonkonstruktion kan være miljømæssigt konkurrencedygtig såvel med hensyn til opførelse og D&V, og afhængig af den valgte diskonteringsrate kan den også være økonomisk konkurrencedygtig.

7. Referencer

- [A1] Aarup, B.: Fiber Reinforced High Performance Concrete for Precast Applications.
- [A2] Aarup, B.: Markedsføring af CRC forstærkes. Trekanten 1, 1999
- [G1] Grøn Beton Rapport, Resultatoversigt, Stor Pakke, Marts 2001
- [K1] Kristoffersen, E., Hansen, H.J.: Betonbro uden fugtisolering og belægning, Dansk Vejtidskrift 5, 2001
- [P1] Projekt Amager, Entreprise 435, Broer Ørestad. Drifts- og vedligeholdsmmanual. A/S Øresundsforbindelsen. Sept. 1998.

Bilag A

Inddata for de 3 konstruktionsprincipper:

Konstruktionsprincip A:

- Nye materialer/materialeændringer:

Betonforhøjelse i forhold til B + C: $0,13 \text{ m}^3$ (relevant for opførelse + deponering)

Konstruktionsprincip B:

- Nye materialer/materialeændringer:

Rustfrit stål: AISI 304 (armeringsmængde: $150 \text{ kg/m}^3 \times \pi \times 0,70^2 \times 6 / 4 = 346 \text{ kg}$)

(plus materialer til procesændringer, se nedunder)

- Procesændringer (besparelser):

1. Rengøring/Spuling med højtryksspuling (kold vand): hvert forår efter vintertjenestens ophør (hele søjlen):

Mængde: overflade: $\pi \times 0,74/2 \times (0,74 + 2 \times 6,0) = 14,8 \text{ m}^2$

2. Overfladebehandling hvert 13. år (hele søjlen) (for eksempel: Monosilan-produkt, Conservado 70 (0,31 liter/m², 2 gang), fra Sika-Beton)

Mængde: 9 liter

3. Reparation hvert 25 år (de første 2 m af søjlen over terræn):

- 3.1 Behugning af beton med tryklufthammer op til 10 mm bag armering (i alt = 50 + 25 + 10 = 85 mm)

Betonmængde som skal fjernes: $0,35 \text{ m}^3$

- 3.2 Sandblæsning af armeringsstål

Stålmængde som skal renses: 130 kg

- 3.3 Sprøjtstøbning af grøn beton

Betonmængde: $0,35 \text{ m}^3$

- 3.4 Flisemørtel (for eksempel: Sikatop 120, 5 tyk mm lag)

Mængde: $0,03 \text{ m}^3$

Konstruktionsprincip C:

- Nye materialer/materialeændringer:

Rustfri stålkappe: 2 mm tyk. Areal: $\pi \times 0,70/2 \times (0,70 + 2 \times 6,0) = 14 \text{ m}^2$

(plus materialer til procesændringer, se nedunder)

- Procesændringer (besparelser):

Etablering af traditionel træforskalling: Træforskalling: Brædderne skal være smigskårne (75 mm brede, 30 mm tyk)

Total træ areal: ca.: 15 m^2

Der antages, at både rustfri stål og tentorstål kan genanvendes.

Regnearkene Miljøscreening

Løsning A		frekvens		Dens		kg	CO2 emission	
		pr 50 år	enhed		Mængde	CO2/enhed		
Transport beton, 25 km		1	tkm			0,089	13,12	
Beton, recept A1		1	kg	2326	5897	0,825912	4870,15	
tentor stål, armering		1	kg		346	1,02	353,11	
rustfrit stål, armering		0	kg	7850	346	5,528421	0,00	
Rustfri stålkappe		0	kg	7850	207	5,528421	0,00	5236,37
Træ, bearbejdet (forskalling)		1	kg	500	225	0,246	55,35	
Opførelse		1	kg		5897	0,027709	163,39	218,74
Rengøring/spuling	Trykremsning	50	m2		14,80	0,3	222,00	
	vand	50	kg		538,00	0,000376	10,11	
Overfladebehandling	Monosilan-produkt, sika	3,8	l		9,00	0,08	2,77	
Reparation	Behugning	1	kg		775,05	0,302459	234,42	
	Transport 50 km i alt.	1	tkm		775,05	0,089	3,45	
	sandblæsning	1	kg		130,00	0,302459	39,32	
	sprøjtestøbning	1	kg		775,05	1,128371	874,54	
	flisemørtel	1	m3	2400	0,03	2,730847	196,62	1583,24
Nedrivning, beton		1	kg		5897	0,02	117,93	
Transport 50 km i alt.		1	tkm		5897	0,089	26,24	
Bortskaffelse rustfrit stål		0				0	0,00	144,17
Samlet CO2 udslip			kg				7182,53	
CO2 udslip pr leveår		50	kg				143,65	
Beton i opførelse			kg		5897			
Beton i vedligehold			kg		775			
Samlet betonmængde			kg		6672			
	CO2 emission i alt	pr år						
Beton	4.870	97,4						
Armering	353	7,1						
Forskallin	55	1,1						
opførelse	177	3,5						
Vedligehold	235	4,7						
Reparation	1.348	27,0						
afhændelse	144	2,9						
i alt	7.183	143,7						

Løsning B		frekvens		Dens	kg	CO2 emission	
		pr 50 år	enhed		Mængde	CO2/enhed	
Transport beton, 25 km		1	tkm			0,089	11,72
Beton, recept A1		1	kg	2326	5266	0,825912	4348,92
tentor stål, armering		0	kg		346	1,02	0,00
rustfrit stål, armering		1	kg	7850	346	5,528421	1913,86
Rustfri stålkappe		0	kg	7850	207	5,528421	0,00
							6274,49
Træ, bearbejdet (forskalling)		1	kg	500	225	0,246	55,35
Opførelse		1	kg		5266	0,027709	145,90
							201,25
Rengøring/spuling	Trykrensning	0	m2		14,80	0,3	0,00
	vand	0	kg		538,00	0,000376	0,00
Overfladebehandling	Monosilan-produkt, sika	0,0	l		9,00	0,08	0,00
Reparation	Behugning	0	kg		568,72	0,302459	0,00
	Transport 50 km i alt.	0	tkm		568,72	0,089	0,00
	sandblæsning	0	kg		130,00	0,302459	0,00
	sprøjtetøbning	0	kg		568,72	1,128371	0,00
	flisemørtel	0	m3	2400	0,03	2,730847	0,00
							0,00
Nedrivning, beton		1	kg		5266	0,02	105,31
Transport 50 km i alt.		1	tkm		5266	0,089	23,43
Bortskaffelse rustfrit stål		0				0	0,00
							128,74
Samlet CO2 udslip			kg				6604,49
CO2 udslip pr leveår		50	kg				132,09
Beton i opførelse			kg		5266		
Beton i vedligehold			kg		0		
Samlet betonnængde			kg		5266		
	CO2 emission i alt	pr år					
Beton	4.349	87,0					
Armering	1.914	38,3					
Forskallin	55	1,1					
opførelse	158	3,2					
Vedligehold	-	0,0					
Reparation	-	0,0					
afhændelse	129	2,6					
i alt	6.604	132,1					

Løsning C		frekvens		Dens	kg	CO2 emission	
		pr 50 år	enhed	Mængde	CO2/enhed		
Transport beton, 25 km		1	tkm		0,089	11,72	
Beton, recept A1		1	kg	2326	5266	0,825912	4348,92
tentor stål, armering		1	kg		346	1,02	353,11
rustfrit stål, armering		0	kg	7850	346	5,528421	0,00
Rustfri stålkappe		1	kg	7850	207	5,528421	1146,30
							5860,05
Træ, bearbejdet (forskalling)		0	kg	500	225	0,246	0,00
Opførelse		1	kg		5266	0,027709	145,90
							145,90
Rengøring/spuling	Trykrensning	0	m2		14,80	0,3	0,00
	vand	0	kg		538,00	0,000376	0,00
Overfladebehandling	Monosilan-produkt, sika	0,0	l		9,00	0,08	0,00
Reparation	Behugning	0	kg		568,72	0,302459	0,00
	Transport 50 km i alt.	0	tkm		568,72	0,089	0,00
	sandblæsning	0	kg		130,00	0,302459	0,00
	sprøjtetøbning	0	kg		568,72	1,128371	0,00
	flisemørtel	0	m3	2400	0,03	2,730847	0,00
							0,00
Nedrivning, beton		1	kg		5266	0,02	105,31
Transport 50 km i alt.		1	tkm		5266	0,089	23,43
Bortskaffelse rustfrit stål		0				0	0,00
							128,74
Samlet CO2 udslip			kg				6134,70
CO2 udslip pr leveår		50	kg				122,69
Beton i opførelse			kg		5266		
Beton i vedligehold			kg		0		
Samlet betonmængde			kg		5266		
	CO2 emission i alt	pr år					
Beton	4.349	87,0					
Armering	353	7,1					
Forskalling	1.146	22,9					
opførelse	158	3,2					
Vedligehold	-	0,0					
Reparation	-	0,0					
afhændelse	129	2,6					
i alt	6.135	122,7					

Ref løsnng		frekvens	enhed	Dens	Mængde	kg	CO2 emission
		pr 50 år				CO2/enhed	
Transport beton, 25 km		1	tkm			0,089	13,12
Beton, recept R		1	kg	2326	5897	1,857832	10955,06
tentor stål, armering		1	kg		346	1,02	353,11
rustfrit stål, armering		0	kg	7850	346	5,528421	0,00
Rustfri stålkappe		0	kg	7850	207	5,528421	0,00
Træ, bearbejdet (forskalling)		1	kg	500	225	0,246	55,35
Opførelse		1	kg		5897	0,027709	163,39
Rengøring/spuling	Trykrensning	50	m2		14,80	0,3	222,00
	vand	50	kg		538,00	0,000376	10,11
Overfladebehandling	Monosilan-produkt, sika	3,8	l		9,00	0,08	2,77
	0,048						
Reparation	Behugning	1	kg		775,05	0,302459	234,42
	Transport 50 km i alt.	1	tkm		775,05	0,089	3,45
	sandblæsning	1	kg		130,00	0,302459	39,32
	sprøjtetøbning	1	kg		775,05	2,160291	1674,33
	flisemørtel	1	m3	2400	0,03	2,730847	196,62
Nedrivning, beton		1	kg		5897	0,02	117,93
Transport 50 km i alt.		1	tkm		5897	0,089	26,24
Bortskaffelse rustfrit stål		0				0	0,00
Samlet CO2 udslip			kg				14067,23
CO2 udslip pr leveår		50	kg				281,34
Beton i opførelse			kg		5897		
Beton i vedligehold			kg		775		
Samlet betonmængde			kg		6672		
	C02 emission i alt	pr år					
Beton	10.955	219,1					
Armering	353	7,1					
Forskallin	55	1,1					
opførelse	177	3,5					
Vedligehold	235	4,7					
Reparation	2.148	43,0					
afhhændelse	144	2,9					
i alt	14.067	281,3					

Løsning A		frekvens	enhed	Dens	kg	CO2 emission	
		pr 75 år			Mængde	CO2/enhed	
Transport beton, 25 km		1	tkm			0,089	13,12
Beton, recept A1		1	kg	2326	5897	0,825912	4870,15
tentor stål, armering		1	kg		346	1,02	353,11
rustfrit stål, armering		0	kg	7850	346	5,528421	0,00
Rustfri stålkappe		0	kg	7850	207	5,528421	0,00
							5236,37
Træ, bearbejdet (forskalling)		1	kg	500	225	0,246	55,35
Opførelse		1	kg		5897	0,027709	163,39
							218,74
Rengøring/spuling	Trykrensning	75	m2		14,80	0,3	333,00
	vand	75	kg		538,00	0,000376	15,17
Overfladebehandling	Monosilan-produkt, sika	5,8	l		9,00	0,08	4,15
Reparation	Behugning	2	kg		775,05	0,302459	468,84
	Transport 50 km i alt.	2	tkm		775,05	0,089	6,90
	sandblæsning	2	kg		130,00	0,302459	78,64
	sprøjttestøbning	2	kg		775,05	1,128371	1749,09
	flisemørtel	2	m3	2400	0,03	2,730847	393,24
							3049,03
Nedrivning, beton		1	kg		5897	0,02	117,93
Transport 50 km i alt.		1	tkm		5897	0,089	26,24
Bortskaffelse rustfrit stål		0				0	0,00
							144,17
Samlet CO2 udslip			kg				8648,32
CO2 udslip pr leveår		75	kg				115,31
Beton i opførelse			kg		5897		
Beton i vedligehold			kg		1550		
Samlet betonmængde			kg		7447		
	CO2 emission i alt		pr år				
Beton	4.870		64,9				
Armering	353		4,7				
Forskallin	55		0,7				
opførelse	177		2,4				
Vedligehold	352		4,7				
Reparation	2.697		36,0				
afhændelse	144		1,9				
i alt	8.648		115,3				

Løsning B		frekvens	enhed	Dens	kg	CO2 emission	
		pr 75 år			Mængde	CO2/enhed	
Transport beton, 25 km		1	tkm			0,089	11,72
Beton, recept A1		1	kg	2326	5266	0,825912	4348,92
tentor stål, armering		0	kg		346	1,02	0,00
rustfrit stål, armering		1	kg	7850	346	5,528421	1913,86
Rustfri stålkappe		0	kg	7850	207	5,528421	0,00
							6274,49
Træ, bearbejdet (forskalling)		1	kg	500	225	0,246	55,35
Opførelse		1	kg		5266	0,027709	145,90
							201,25
Rengøring/spuling	Trykrensning	0	m2		14,80	0,3	0,00
	vand	0	kg		538,00	0,000376	0,00
Overfladebehandling	Monosilan-produkt, sika	0,0	l		9,00	0,08	0,00
Reparation	Behugning	0	kg		568,72	0,302459	0,00
	Transport 50 km i alt.	0	tkm		568,72	0,089	0,00
	sandblæsning	0	kg		130,00	0,302459	0,00
	sprøjttestøbning	0	kg		568,72	1,128371	0,00
	flisemørtel	0	m3	2400	0,03	2,730847	0,00
							0,00
Nedrivning, beton		1	kg		5266	0,02	105,31
Transport 50 km i alt.		1	tkm		5266	0,089	23,43
Bortskaffelse rustfrit stål		0				0	0,00
							128,74
Samlet CO2 udslip			kg				6604,49
CO2 udslip pr leveår		75	kg				88,06
Beton i opførelse			kg		5266		
Beton i vedligehold			kg		0		
Samlet betonmængde			kg		5266		
	CO2 emission i alt		pr år				
Beton	4.349		58,0				
Armering	1.914		25,5				
Forskallin	55		0,7				
opførelse	158		2,1				
Vedligehold	-		0,0				
Reparation	-		0,0				
afhændelse	129		1,7				
i alt	6.604		88,1				

Løsning C		frekvens		Dens	kg	CO2 emission	
		pr 75 år	enhed	Mængde	CO2/enhed		
Transport beton, 25 km		1	tkm		0,089	11,72	
Beton, recept A1		1	kg	2326	5266	0,825912	4348,92
tentor stål, armering		1	kg		346	1,02	353,11
rustfrit stål, armering		0	kg	7850	346	5,528421	0,00
Rustfri stålkappe		1	kg	7850	207	5,528421	1146,30
							5860,05
Træ, bearbejdet (forskalling)		0	kg	500	225	0,246	0,00
Opførelse		1	kg		5266	0,027709	145,90
							145,90
Rengøring/spuling	Trykrensning	0	m2		14,80	0,3	0,00
	vand	0	kg		538,00	0,000376	0,00
Overfladebehandling	Monosilan-produkt, sika	0,0	l		9,00	0,08	0,00
Reparation	Behugning	0	kg		568,72	0,302459	0,00
	Transport 50 km i alt.	0	tkm		568,72	0,089	0,00
	sandblæsning	0	kg		130,00	0,302459	0,00
	sprøjtetøbning	0	kg		568,72	1,128371	0,00
	flisemørtel	0	m3	2400	0,03	2,730847	0,00
							0,00
Nedrivning, beton		1	kg		5266	0,02	105,31
Transport 50 km i alt.		1	tkm		5266	0,089	23,43
Bortskaffelse rustfrit stål		0				0	0,00
							128,74
Samlet CO2 udslip			kg				6134,70
CO2 udslip pr leveår		75	kg				81,80
Beton i opførelse			kg		5266		
Beton i vedligehold			kg		0		
Samlet betonmængde			kg		5266		
	CO2 emission i alt	pr år					
Beton	4.349	58,0					
Armering	353	4,7					
Forskalling	1.146	15,3					
opførelse	158	2,1					
Vedligehold	-	0,0					
Reparation	-	0,0					
afhændelse	129	1,7					
i alt	6.135	81,8					

Ref løsning		frekvens	enhed	Dens	Mængde	kg	CO2 emission	
		pr 75 år					CO2/enhed	
Transport beton, 25 km		1	tkm			0,089	13,12	
Beton, recept R		1	kg	2326	5897	1,857832	10955,06	
tentor stål, armering		1	kg		346	1,02	353,11	
rustfrit stål, armering		0	kg	7850	346	5,528421	0,00	
Rustfri stålkappe		0	kg	7850	207	5,528421	0,00	11321,29
Træ, bearbejdet (forskalling)		1	kg	500	225	0,246	55,35	
Opførelse		1	kg		5897	0,027709	163,39	218,74
Rengøring/spuling	Trykrensning	75	m2		14,80	0,3	333,00	
	vand	75	kg		538,00	0,000376	15,17	
Overfladebehandling	Monosilan-produkt, sika	5,8	l		9,00	0,08	4,15	
Reparation	Behugning	2	kg		775,05	0,302459	468,84	
	Transport 50 km i alt.	2	tkm		775,05	0,089	6,90	
	sandblæsning	2	kg		130,00	0,302459	78,64	
	sprøjtetøbning	2	kg		775,05	2,160291	3348,66	
	flisemørtel	2	m3	2400	0,03	2,730847	393,24	4648,61
Nedrivning, beton		1	kg		5897	0,02	117,93	
Transport 50 km i alt.		1	tkm		5897	0,089	26,24	
Bortskaffelse rustfrit stål		0				0	0,00	144,17
Samlet CO2 udslip			kg				16332,81	
CO2 udslip pr leveår		75	kg				217,77	
Beton i opførelse			kg		5897			
Beton i vedligehold			kg		1550			
Samlet betonmængde			kg		7447			
	CO2 emission i alt		pr år					
Beton	10.955		146,1					
Armering	353		4,7					
Forskallin	55		0,7					
opførelse	177		2,4					
Vedligehold	352		4,7					
Reparation	4.296		57,3					
afhhændelse	144		1,9					
i alt	16.333		217,8					